

BETON SEBAGAI PERISAI RADIASI NEUTRON CEPAT

Endah Safitri

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126 Telp. 0271 634524

Abstract

This research examines the concrete used as a fast neutron radiation shield. Polymer which has high hydrogen atom content is added to the concrete material composition and planned to be capable in protecting neutron radiation. There are eleven types of mixtures i.e.: normal concrete, baryte concrete, serpentinite concrete, mixture serpentinite concrete, manganese concrete, steel slag polymer concrete of 0%, 10%, 20%, and normal polymer concrete of 0%, 10%, 20%. Four specimens for each mixture with 6 cm thickness are exposed to fast neutron radiation originated from 14 MeV neutron generators. The result shows that normal concrete has the highest in absorption for fast neutron radiations. Increasing polymer to restraint fast neutron radiation is not detected, but steel slag polymer concrete can be an alternative for a fast neutron and gamma ray radiation shield

Keywords:

fast neutron radiation, radiation shielding

PENDAHULUAN

Radioaktivitas alam mula-mula ditemukan oleh Henry Becquerell (Perancis) pada tahun 1895. Dengan melakukan eksperimen tentang sifat keradioaktifan berbagai macam garam uranium, pada tahun 1900 Pierre Curie dan Marie Curie menemukan bahwa ada 3 tipe radiasi yang dipancarkan unsur radioaktif tersebut, yaitu partikel α (alfa), partikel β (beta), dan sinar γ (gamma). Sejak itu penelitian dan penggunaan nuklir terus berkembang. Teknologi nuklir yang pemanfaatannya luas di berbagai bidang, seperti misalkan di bidang pertanian, industri dan kedokteran perlu diwaspadai, karena terkadang menimbulkan dampak negatif. Dampak negatif ini bersumber dari radiasi yang dipancarkan akibat pemanfaatan bahan-bahan radioaktif.

Sumber-sumber penghasil radiasi seperti akselerator, reaktor nuklir dan sumber radiasi lainnya dapat memancarkan partikel-partikel yang bermuatan maupun yang tidak, seperti: α (alfa), β (beta), γ (gamma), n (neutron) dan partikel lainnya. Partikel-partikel ini akan mengadakan interaksi dengan material yang dilaluinya. Radiasi ini dapat membahayakan makhluk hidup yang berada di sekitarnya karena dapat merusak sel-sel tubuh manusia dan bisa menyebabkan berbagai penyakit, seperti leukimia, kanker dan sebagainya. Oleh karenanya dituntut adanya penyediaan fasilitas gedung yang mampu melindungi pekerja dan lingkungan sekitarnya dari bahaya radiasi. Proteksi radiasi peralatan nuklir dan dinding ruangan harus dapat dipertanggungjawabkan untuk menjamin keamanan pekerja yang bekerja di dalam ruangan tersebut dan lingkungan sekitarnya.

Karena interaksi antara radiasi dengan materi berlainan tergantung dari sifat dan jenis radiasinya, maka untuk membuat suatu perisai harus dipilih bahan yang dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi tersebut. Oleh karena itu diperlukan pengetahuan tentang sifat radiasi dan interaksinya dengan materi serta penelitian tentang bahan perisai radiasi, sehingga dari hasil penelitian tersebut akan didapatkan bahan yang paling efektif sebagai perisai radiasi. Semakin tinggi kadar air dalam beton, semakin besar jumlah hidrogennya, maka semakin efektif mengatenuasi radiasi neutron.

Perisai radiasi

Prinsip proteksi radiasi yaitu mengurangi bahaya radiasi serendah-rendahnya, sehingga tingkat radiasinya sudah cukup aman atau tidak melebihi dosis yang diijinkan. Faktor-faktor yang berpengaruh adalah : jarak dari sumber radiasi, lamanya waktu penyinaran radiasi, dan faktor perisai radiasi.

Perisai yang diperlukan tergantung pada tipe radiasi, aktivitas sumber dan berapa laju dosis yang diinginkan di luar perisai. Ada beberapa macam material yang dapat digunakan sebagai perisai radiasi, contohnya adalah Timbal (Pb) yang sering digunakan di rumah sakit untuk perisai sinar X (Rontgen), paduan aluminium (*alloy*) untuk kelongsong (*cladding*) bahan bakar reaktor dan beton untuk perisai akselerator generator neutron. Selama ini beton lebih banyak dipilih dan digunakan untuk perisai reaktor nuklir, karena mudah dibuat dan cukup kuat. Akan tetapi penggunaan beton pada reaktor nuklir selama ini masih mempunyai kelemahan yaitu ketebalan beton terlalu besar (± 1 m) sehingga bangunan reaktor

nuklir menjadi boros dalam penggunaan ruang dan material, sehingga biaya yang harus dikeluarkan untuk pembangunan gedung reaktor sangat besar. Beton perisai radiasi adalah komponen struktur beton yang merupakan bagian dari suatu sistem pengamanan yang diperlukan pada kegiatan yang berhubungan dengan radiasi pengion dan radiasi neutron untuk melindungi kesehatan manusia dari penyinaran lebih yang membahayakan (SK SNI S-17-1990-3). Kandungan air terikat dalam pasta semen dan sejumlah air di dalam agregat merupakan sumber utama hidrogen dalam beton. Semakin tinggi kadar air dalam beton, semakin besar jumlah hidrogennya, maka semakin efektif mengatenuasi radiasi neutron. Beberapa cara yang telah dilakukan untuk memperbesar kandungan air dalam beton yaitu dengan menggunakan agregat yang mampu mengikat air lebih banyak seperti *turmalin*, *serpentin*, *boron frit* atau bahan tambah MO (*Magnesium Oxychloride*) dalam semen (Dwiatmoko, 1998).

Tabel 1. Jenis dan kandungan utama senyawa kimia agregat beton perisai radiasi

Agregat dgn Kand. Utama Mineral	Jenis Agregat	Kandungan Utama Senyawa Kimia	Berat Jenis Kg/m ³
Serpentin	Batu pecah, Hidrat batuan beku	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	2400 – 2650
Limonit	Batu pecah, Hidrat bijih besi	(HFeO ₂) _x (H ₂ O) _y	3400 – 3800
Gutit	Batu pecah, Kerikil atau	HFeO ₂	3500 – 4500
Barit	Batu pecah, Bijih besi	BaSO ₂	4000 – 4400
Ilmenit	Batu pecah, Bijih besi	FeTiO ₂	4200 – 4800
Hematit	Batu pecah, Bijih besi	Fe ₂ O ₃	4600 – 5200
Magnetit	Batu pecah, Bijih besi	Fe ₂ O ₄	4600 – 5200
Besi	Dibuat dari besi/baja	Fe	6500 – 7500
Ferofosforus	Sintesis	Fe _n P	5800 – 6300
Turmalin	Pasir	{Na(Mg,Fe,Mn,Li,Al) ₃ Al ₆ (Si ₆ O ₁₈)(BO ₃) ₃ (OH,F) ₄ }	3030 – 3250
Boron	Frit sintesis	B ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , CaO	2600 – 2800

Interaksi Radiasi Neutron dengan Materi

Neutron adalah partikel penyusun inti (nukleon) yang tak bermuatan dan memiliki massa yang hampir sama dengan massa proton. Oleh karena partikel tersebut tidak bermuatan maka dalam gerakannya tidak terpengaruh oleh gaya coulomb orbital maupun gaya coulomb inti, dan dapat dikatakan bahwa neutron hanya terinteraksi dengan inti atom dari bahan yang dilaluinya.

Pada energi yang sama, tampang lintang neutron pada materi jauh lebih kecil dibandingkan dengan

partikel-partikel bermuatan. Pada umumnya tampang lintang neutron berbanding terbalik dengan energinya, sehingga neutron mempunyai daya tembus lebih besar dibanding dengan partikel bermuatan.

Interaksi neutron dengan bahan selain tergantung pada energi neutron juga tergantung pada jenis bahan. Ada beberapa mekanisme yang terjadi apabila neutron melewati suatu bahan diantaranya adalah hamburan lenting, hamburan tak lenting, reaksi tangkapan dan reaksi fisi. Dalam hal menahan radiasi neutron, proses yang diperlukan adalah: proses perlambatan neutron cepat dengan hamburan-hamburan tak lenting menggunakan elemen-elemen berat, proses perlambatan lebih lanjut dengan menggunakan elemen-elemen ringan dan proses serapan neutron.

Dengan adanya interaksi-interaksi tersebut akan menyebabkan pengurangan intensitas neutron, sehingga apabila memungkinkan maka perisai terhadap radiasi neutron yang baik adalah perisai yang merupakan kombinasi antara bahan dengan atom-atom ringan (seperti hidrogen) dengan elemen-elemen berat. Disamping itu perlu diperhatikan untuk menggunakan bahan-bahan perisai radiasi dengan tampang lintang neutron yang besar karena semakin besar harga tampang lintang maka semakin banyak neutron yang diserap oleh bahan tersebut

METODE

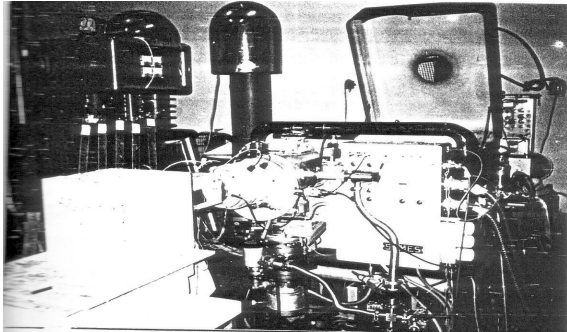
Benda Uji

Penelitian ini menguji beton sebagai perisai radiasi neutron dengan berbagai macam agregat sebagai bahan susun beton. Beton yang dipakai adalah beton barit, beton mangan, beton slag, beton serpentin, beton slag polimer 0% (BSP0), 10% (BSP1) dan 20% (BSP2), beton normal polimer 0% (BNP0), 10% (BNP1) dan 20% (BNP2), dan beton dengan agregat normal sebagai pembanding. Batu barit diambil dari Kokap Wates, batu mangan dari Kliripan Wates, batu slag dari PT Krakatau Steel Cilegon, pasir dari Sungai Progo Yogyakarta dan batu kali dari Clereng untuk campuran beton normal. Polimer yang dipakai adalah polimer jenis Polyacrylic Esther produk dari SIKI. Sebelas beton tersebut masing-masing dibuat dalam bentuk lempengan-lempengan dengan ukuran 25 x 25 x 6 cm sebanyak 4 buah. Penggunaan polimer dipakai untuk menambah hidrogen dalam beton.

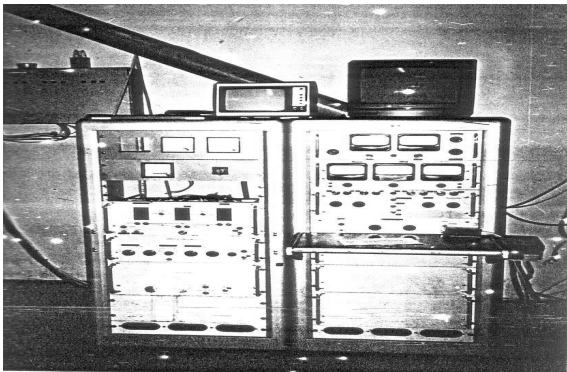
Alat-alat untuk percobaan radiasi neutron

Alat-alat yang digunakan untuk menentukan kemampuan atenuasi beton terhadap radiasi neutron adalah stopwatch/jam, foil aluminium standart,

penggaris plastic, perangkat generator neutron SAMES tipe J 25 – 150 ke V, perangkat spektroskopi gamma, dan alat untuk kalibrasi spectrometer gamma.



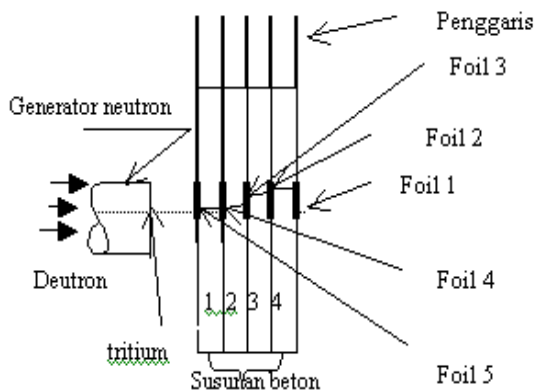
Gambar 1. Peralatan unit akselerator, sumber daya dan sumber tegangan tinggi



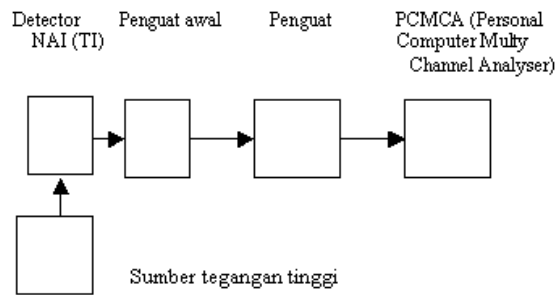
Gambar 2. Sistem kendali

Prosedur penelitian

Sumber radiasi neutron yang digunakan adalah Tritium yang ditembaki dengan Deuterium, sedangkan sumber untuk kalibrasi energi: Cs dan Co. Tempat pengujian radiasi neutron dilaksanakan di BATAN-Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju Yogyakarta. Sampel beton berjumlah 4 buah disusun di depan generator neutron.



Gambar 3. Skema penempatan sampel



Gambar 4. Skema percobaan untuk pencacahan

Pelaksanaan Aktivasi dan Pencacahan Sampel

- Lima buah foil aluminium dipasang pada penggaris plastik.
- Empat buah beton diletakkan pada jarak 5 cm di depan target dan foil diletakkan masing-masing di depan dan belakang beton seperti terlihat pada Gambar 3.
- Perangkat generator neutron dioperasikan sesuai dengan prosedur untuk mengaktivasi foil selama t_{ir} . (pada penelitian ini selama 20 menit).
- Selama generator neutron dioperasikan, perangkat spektroskopi gamma diset sehingga saat aktivasi dihentikan sampel bisa langsung dicacah
- Setelah selesai diaktivasi foil diambil untuk dicacah dengan spektroskopi gamma, pencacahan dimulai dari foil yang terletak paling jauh dari target. Dicatat waktu tunda (t_d) dengan stopwatch dan waktu cacahnya (t_c).
- Langkah diatas dilakukan untuk setiap tipe beton.
- Hasil pencacahan dari foil aluminium standar berupa spektrum yang dapat dianalisa puncak-puncaknya untuk perhitungan dalam menentukan besarnya fluks neutron yang mengenai foil.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan besarnya fluks neutron yang mengenai foil adalah:

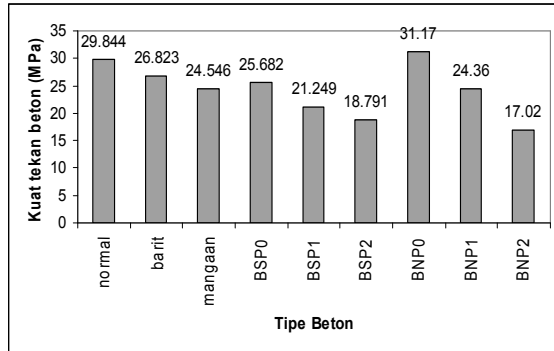
$$\phi_n = \frac{CL\epsilon 2BA}{a\epsilon YmNA_{1/2}\sigma} \times \frac{1}{(1-e^{-\ln 2 t_{ir}/T_{1/2}})e^{-\ln 2 t_d/T_{1/2}}(1-e^{-\ln 2 t_c/T_{1/2}})} \quad [1]$$

Dengan

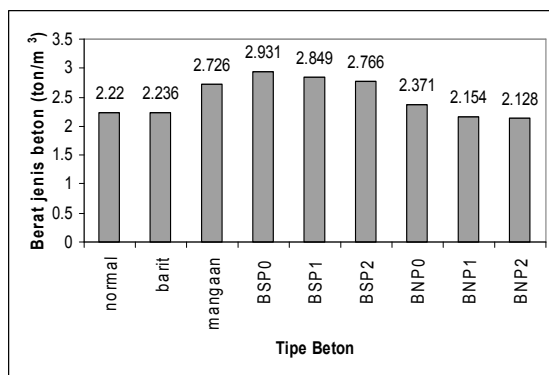
- C = cacah terukur
- BA = berat atom aluminium
- A = kelimpahan isotop
- ϵ = efisiensi detector
- Y = prosentase peluruhan gamma
- M = massa cuplikan (gram)
- NA = bilangan Avogadro
- $T_{1/2}$ = waktu paruh peluruhan
- σ = tampang lintang serapan
- t_{ir} = waktu iradiasi
- t_d = waktu tunda
- t_c = waktu cacah,

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat tekan dan berat jenis beton



Gambar 5. Perbandingan kuat tekan beton pada berbagai tipe beton



Gambar 6. Perbandingan berat jenis beton pada berbagai tipe beton

Dari Gambar 6. terlihat bahwa beton BSP0, BSP1, BSP2, dan beton barit mempunyai berat jenis lebih besar daripada 2500 kg/m^3 sehingga bisa dikategorikan beton berat atau beton berdensitas tinggi. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa beton BSP0 mempunyai berat jenis yang paling tinggi dan beton normal mempunyai berat jenis paling rendah. Akan tetapi apabila dibandingkan kuat tekannya maka beton normal mempunyai kuat

tekan paling tinggi dibanding sepuluh tipe beton yang lain (Gambar 5). Penggunaan beton dalam instalasi nuklir berbeda dengan di luar instalasi nuklir (non radiasi). Dalam perencanaan beton untuk perisai radiasi, syarat kekuatan beton sebagai bahan bangunan bukan tujuan utama, melainkan lebih dititikberatkan pada daya serap radiasinya. Dengan kata lain kekuatan beton perisai radiasi cukup mutu sedang saja (22,5 MPa- 35 MPa), namun beton harus dengan kepadatan tinggi sehingga lebih mampu menahan radiasi dari sinar radioaktif yang sangat membahayakan bagi keselamatan manusia.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa beton normal tetap yang terbaik dalam hal penyerapan radiasi neutron cepat, baik dalam ketebalan beton 6 cm maupun 12 cm, sehingga penambahan polimer ternyata tidak berpengaruh pada penambahan daya serap beton. Hal ini dikarenakan bahan akrilik ester yang digunakan pada penelitian terdahulu tidak diuraikan gugus esternya secara jelas, sehingga kemungkinan berpengaruh terhadap reaksi hidrasi-polimerisasi saat beton mengeras. Beton normal merupakan bahan perisai paling murah dan lebih baik untuk menahan radiasi neutron daripada gamma, karena tersusun dari unsur-unsur bernomor atom rendah sehingga lebih efektif dalam memoderasi, menghentikan dan menyerap neutron dengan interaksi hamburan lentingnya, sedang beton slag yang tersusun dari unsur-unsur yang sebagian besar bernomor atom cukup tinggi terutama Fe yang mempunyai tampang lintang hamburan cukup besar, berinteraksi dengan neutron dengan hamburan tak elastis. Sehingga beton slag atau beton berat pada umumnya cukup efektif sebagai penghambur dan *reflektor* neutron. Makin berat makin besar hamburan inelastisnya (Stephenson, 1954).

Tabel 2. Berat jenis dan daya serap beton terhadap radiasi neutron cepat pada berbagai tipe beton.

Tipe Beton	Berat Jenis T/m^3	Daya serap (%)				Prosentase penambahan/ pengurangan daya serap terhadap beton normal	
		6 cm	12 cm	18 cm	24 cm	6 cm	12 cm
Serpentin	2,23	77,69	96,43	-	-	-13,06	-1,641
Serpentin camp.	2,43	81,33	96,82	-	-	-8,993	-1,246
Normal	2,40	89,37	98,04	-	-	0	0
Barit	2,72	83,15	94,87	-	-	-6,956	-3,238
Mangaan	2,23	85,98	95,29	-	-	-3,787	-2,808
BSP0	2,93	77,75	92,27	95,04	94,11	-12,99	-5,885
BSP1	2,84	78,65	92,60	95,61	94,92	-11,98	-5,548
BSP2	2,76	79,51	92,76	95,76	95,56	-11,02	-5,389
BNP0	2,37	45,52	60,25	79,48	89,74	-49,06	-38,54
BNP1	2,15	82,92	94,40	97,08	98,64	-7,217	-3,715
BNP2	2,12	84,84	90,42	97,93	98,94	-5,064	-7,769

Sinar gamma merupakan faktor yang amat menentukan dalam pembuatan perisai, oleh karena itu perlu unsur dengan berat atom yang tinggi dalam perisai untuk menahan pancaran radiasi gamma tersebut. Tidak ada satupun bahan yang mampu menyerap neutron cepat dan gamma sama baiknya. Oleh sebab itu perisai radiasi memerlukan bahan yang didalamnya terkandung elemen ringan maupun elemen berat. Dalam hal ini bahan tersebut adalah beton. Selama ini dipakai beton normal dengan ketebalan 1 m . Dari Tabel 2 bisa dilihat bahwa penggunaan beton slag dengan penambahan polimer bisa dijadikan alternatif untuk perisai radiasi neutron cepat sekaligus sinar gamma.

SIMPULAN

Dari data dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa beton normal tetap yang terbaik dalam menyerap radiasi neutron cepat. Akan tetapi apabila perisai yang dibutuhkan adalah perisai radiasi neutron cepat sekaligus juga untuk sinar gamma, maka beton slag polimer adalah yang terbaik, karena beton tersebut termasuk beton berat, semakin besar berat jenisnya, semakin bagus dalam menyerap radiasi sinar gamma.

REFERENSI

Dwiatmoko, Y., 1998, "Studi Beton Berat dengan Agregat Batu Barit untuk Perisai Radiasi Neutron", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil FT UGM, Yogyakarta.

Hartono, A.J., 1995, "Penuntun Analisis Polimer Aktual", Penerbit Andi Offset, Yogyakarta

Pudjoraharjo, D.S., 1994, "Petunjuk Praktikum Aktivasi Neutron Cepat", Bidang Fisika Nuklir dan Atom Pusat Penelitian Nuklir, Yogyakarta.

Raju, K.N., 1993, "Design of Concrete Mixes", College Book Store, Srinivasnagar, Delhi.

Sugiyanto, 1996, "Penelitian Daya Serap Beton dengan Berbagai Bahan Susun Lokal terhadap Radiasi Neutron Cepat (14 MeV) dan Gamma (662 keV)", Tugas Akhir, Jurusan Teknofisika Nuklir Pendidikan Ahli Teknik Nuklir Badan Tenaga Atom Nasional, Yogyakarta.

Sumediyono, 1999, "Hambatan Radiasi Neutron pada Beton dengan Agregat Batu Barit dengan Fraksi Halus Pasir Besi untuk Dinding Beton", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Janabadra, Yogyakarta.

Sumi, 1999, "Penentuan Tampang Lintang Removal Makroskopik Neutron Cepat pada Beton Serpentin Sebagai Bahan Perisai Radiasi", Tugas Akhir, Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, Malang.

Stephenson, R., 1954, "Introduction to Nuclear Engineering", McGraw-Hill Book Comp. Inc., New York.

Tjokrodinuljo, K., 2000, "Teknologi Beton" Penerbit Nafiri, Yogyakarta.

